# المحاضرة السادسة «الجزء الأول»

## تابع علاقة النبات بالماء


إعداد

أ.د/ أحمد لطفى ونس

أستاذ النبات وعميد الكلية

# علاقة النبات بالماء

## تشمل علاقة النبات بالماء ثلاث عمليات هى:

١) إمتصاص النبات للماء.

٢) إنتقال الماء فى النبات.

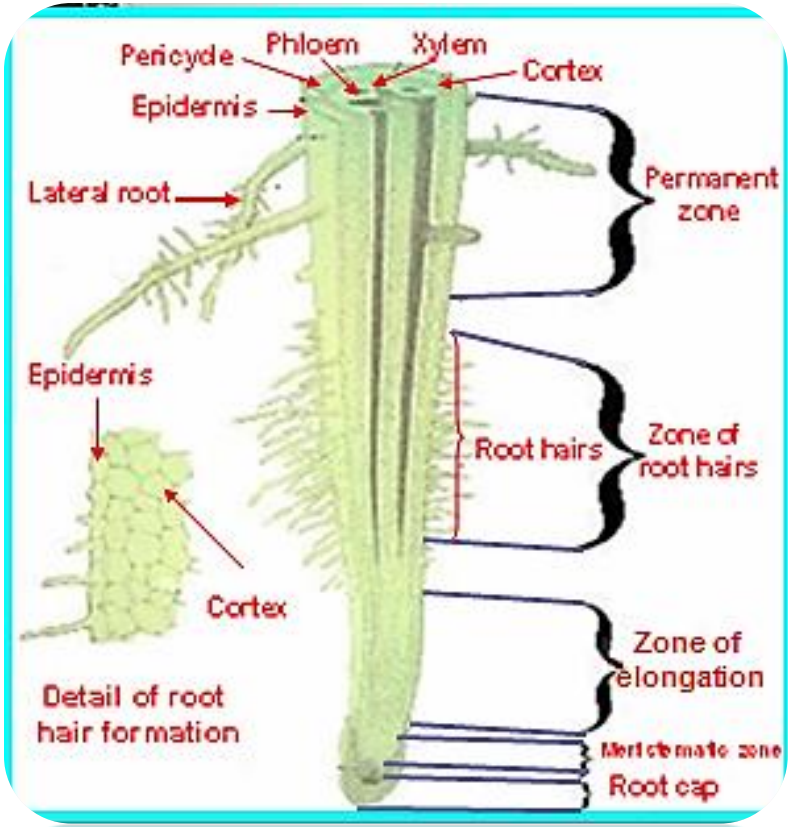
٣) فقد النبات للماء.

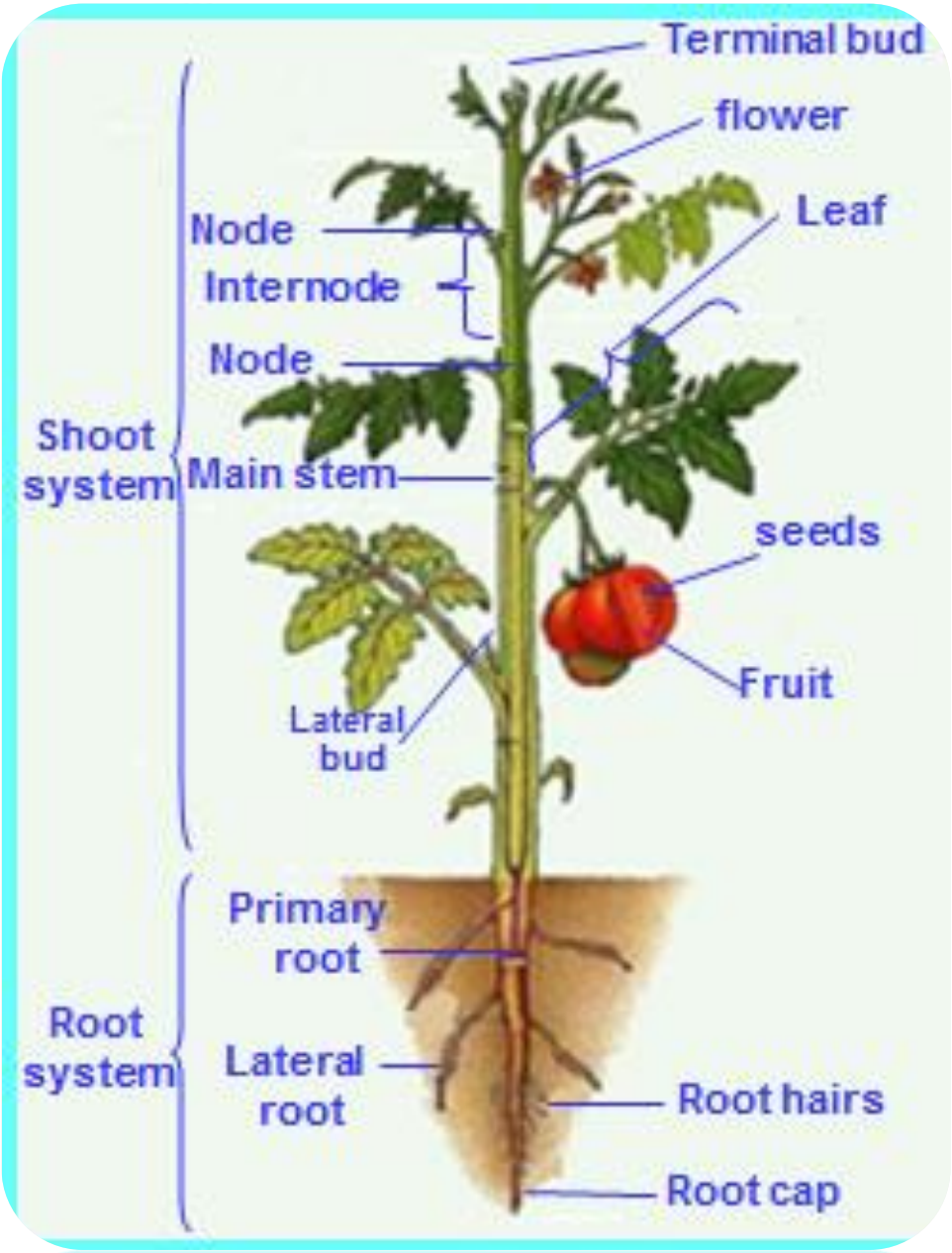
## أولاً: إمتصاص النبات للماء:

١) يتم إمتصاص النبات للماء بواسطة الجذور.

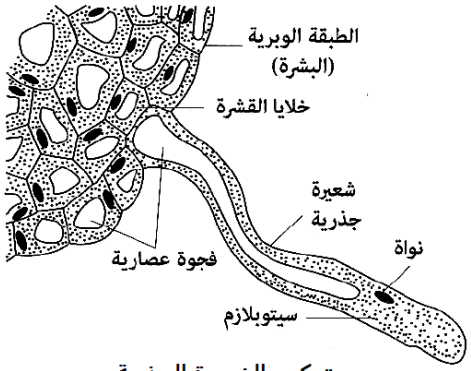
٢) قد يتم إمتصاص النبات للماء عن طريق المجموع الخضرى كما يحدث فى حالة الرى بالرش ولكن كميته تكون قليلة مقارنةً بما يتم إمتصاصه بواسطة الجذور.

٣) فى النباتات المائية يحدث الإمتصاص بواسطة جميع أعضاء النبات المغمورة بالماء.

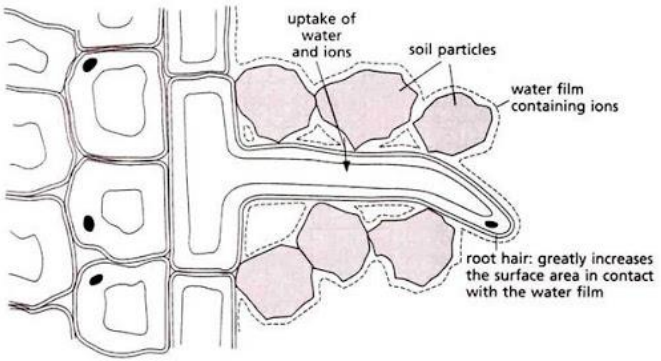

Pericycle
Phloem
Xylem
Cortex
Epidermis
Lateral root
Permanent zone
Epidermis
Root hairs
Zone of root hairs
Cortex
Zone of elongation
Detail of root hair formation
Root cap

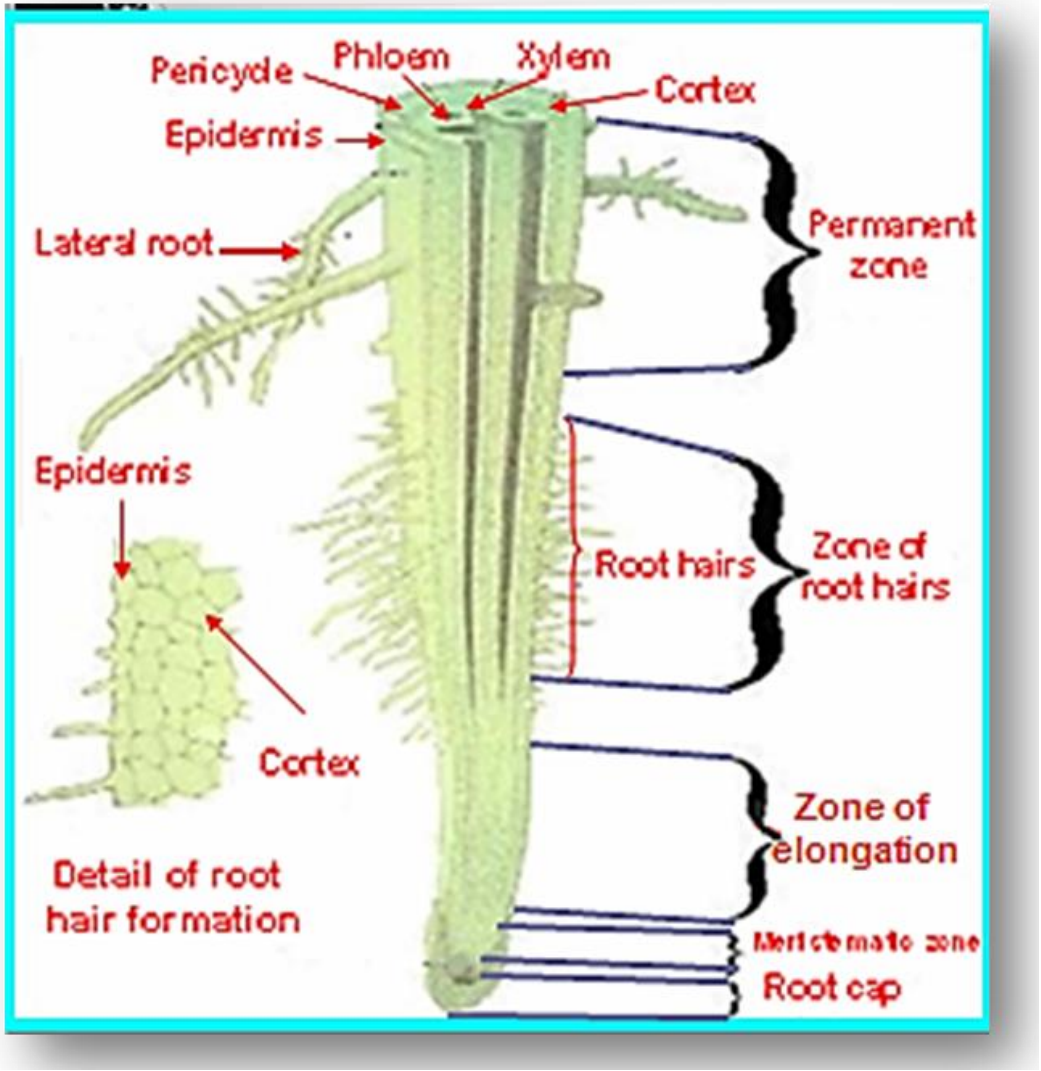

Terminal bud
flower
Leaf
Node
Internode
Node
Shoot system
Main stem
seeds
Fruit
Lateral bud
Primary root
Root system
Lateral root
Root hairs
Root cap

# إمتصاص الماء بواسطة الجذور




تركيب الشعيرة الجذرية



# ميكانيكية إمتصاص النبات للماء

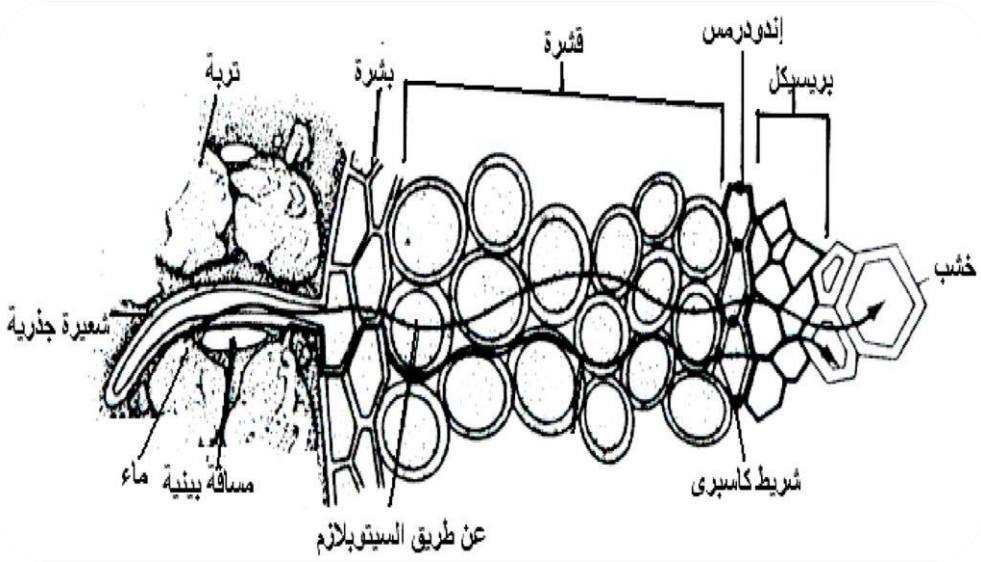
هناك على الأقل نظامان أو قوتان يمكن للنبات بواسطتهما أن يقوم بإمتصاص الماء من التربة وهاتان القوتان هما:

## (١) قوة الجذر الإيجابية لإمتصاص الماء (القوة الموجبة)

سميت هذه القوة بهذا الإسم لأنها تتكون من نظم إمتصاص تنشأ من خلايا الجذر نفسه ولا تتسبب عن عوامل أخرى خارجية كما هو الحال فى قوة الإمتصاص الناشئة عن النتح. وتتألف قوة الإمتصاص الإيجابية فى مجموعها من ثلاث نظم تعمل مستقلة فى إمتصاص الماء من التربة كما يلى:

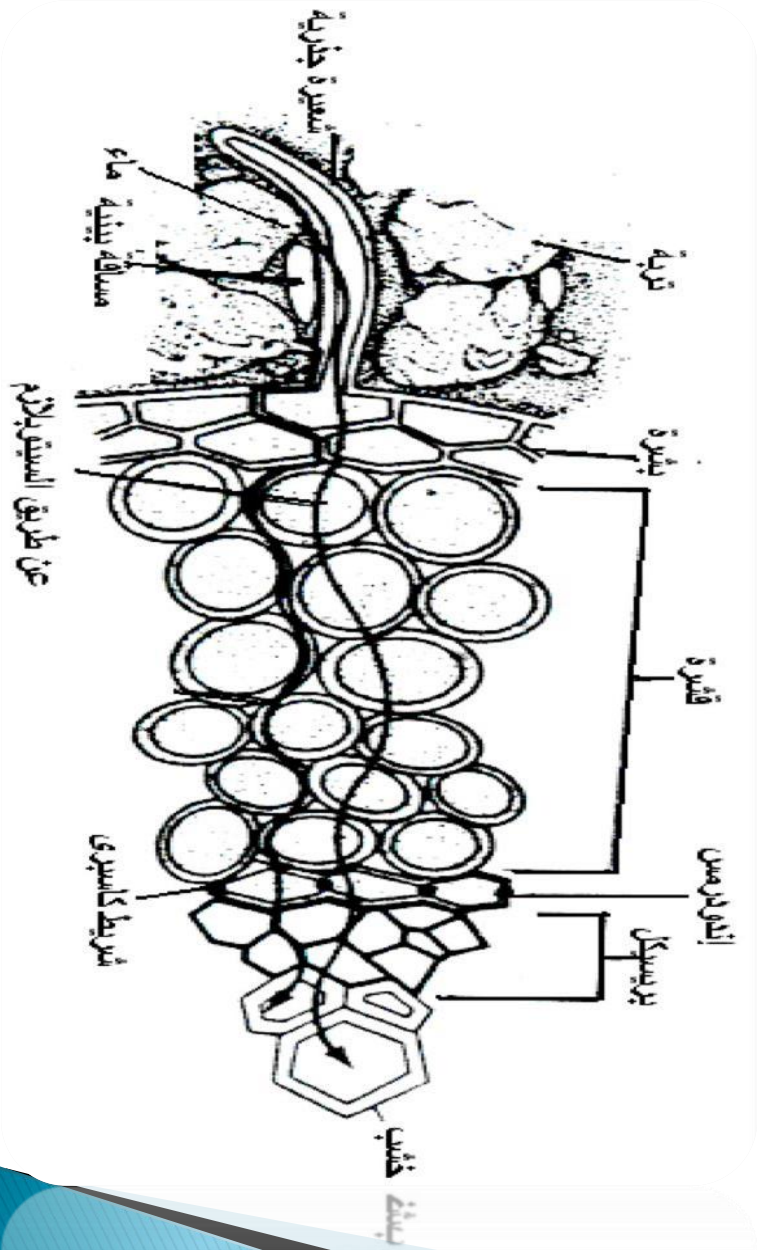
### ❖ نظام الإمتصاص الناتج عن التشرب:

كما سبق القول فإن جدر الخلايا النباتية تتكون من الهلاميات شبة المتصلبة ذات القدرة العالية على تشرب جزيئات الماء وبالتالى يسير تيار من ماء التشرب من خلية إلى أخرى من خلال جدر الخلايا إلى أن يصل إلى أوعية الخشب، إلا إنه يجب ملاحظة أن كمية الماء التى يمتصها النبات بهذه الطريقة تعتبر ضئيلة جداً إذا قورنت بمعدلات إمتصاص الماء بواسطة الطرق الأخرى.



## ❖نظام الإمتصاص الناتج عن الأسموزية

ولتصوير هذا النظام يمكن النظر إلى صفوف الخلايا المتتالية المكونة لأنسجة الجذر الفاصلة بين المحلول الأرضى وبين أوعية الخشب فى الجذر (خلايا البشرة والقشرة والإندوديرمس والبريسيكل) كغشاء واحد شبة منفذ متعدد الطبقات وعلى ذلك يصبح العامل الوحيد المسئول عن دخول الماء من المحلول الأرضى إلى أوعية الخشب فى الجذر هو نقص الجهد المائى أو الضغط الإنتشارى للماء فى أوعية الخشب عنه فى المحلول الأرضى.



## ❖نظام الإمتصاص المعتمد على الطاقة المنفردة فى عملية التنفس

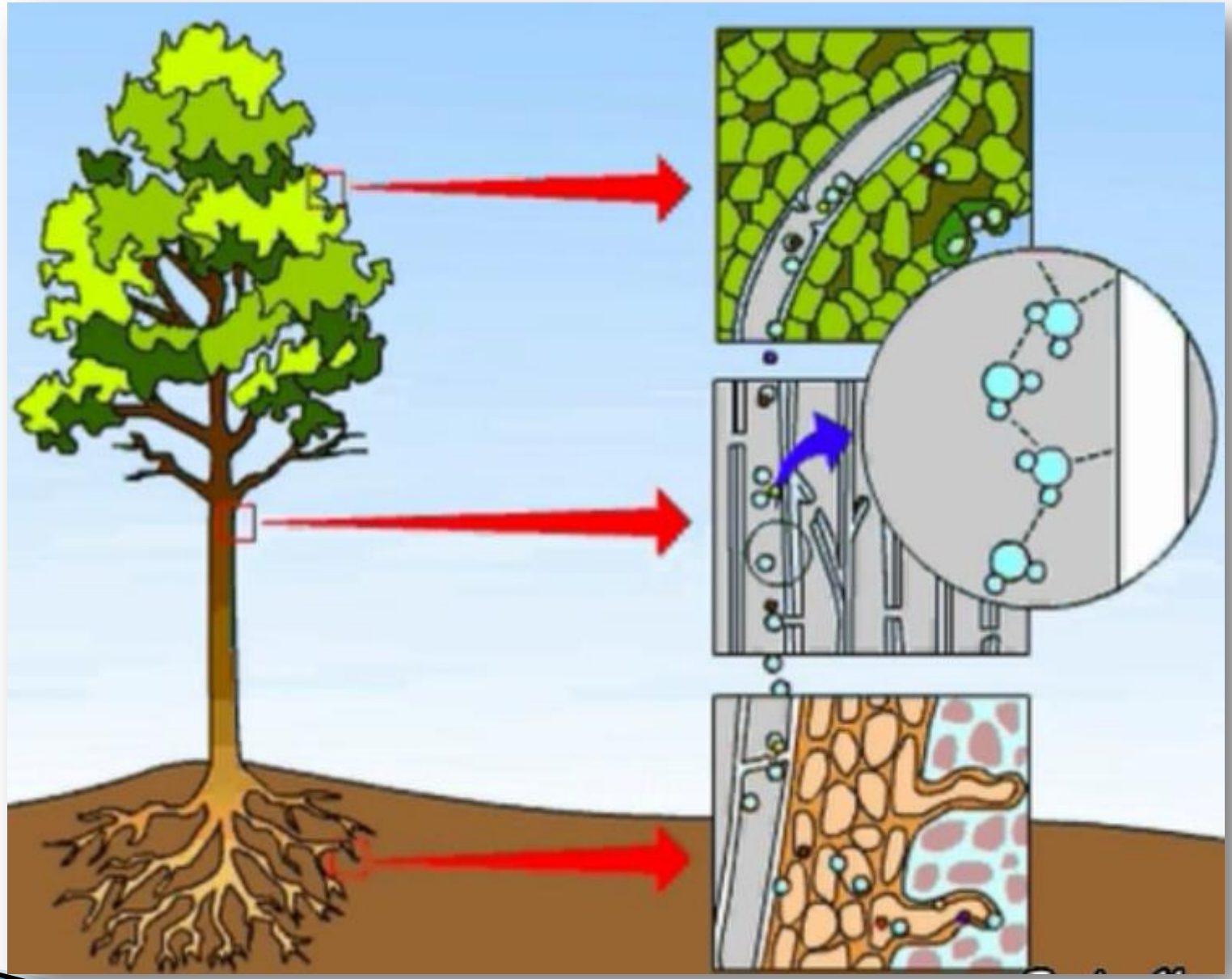
يطلق عليه نظام الإمتصاص الحيوى أو النشط **Active absorption** وفيه تقوم خلايا الجذر بإمتصاص الماء من التربة عن طريق ضخ هذا الماء إلى الداخل على حساب طاقة الأكسدة الناتجة من عملية التنفس، أى أن هذا النوع من الإمتصاص يتوقف على حيوية الجذور وعلى توفر الأكسجين اللازم لتنفسها كما أن له علاقة كبيرة بالتحولات الغذائية داخل خلايا الجذر، وحتى الآن لم يعرف على وجه التحديد ميكانيكية هذا النظام إلا أنه قد يفسر جزئياً بأن الإمتصاص النشط لأيونات العناصر المعدنية من التربة يؤدى إلى زيادة تركيزها بالعصير الخلوى وبالتالى إلى زيادة الجهد الاسموزى للعصارات الخلوية وزيادة إمتصاص الخلايا للماء بالتبعية.

وهذه الأنظمة الثلاثة تعرف فى مجموعها باسم الضغط الجذرى **Root pressure** والتى يترتب عليها ظاهرتان معروفتان هما ظاهرة الإدماء **Bleeding** والإدماع **Guttation** إلا أن التجارب أثبتت أن قوة الضغط الجذرى لا تزيد عن ٢ ضغط جوى فى معظم الأنواع النباتية وحجم الماء الممتص نتيجة الضغط الجذرى عموماً يكون ضئيلاً إذا قورن بحجم الماء الممتص نتيجة القوة الثانية لإمتصاص الماء وهى القوة السالبة.

## (٢) القوة السلبية لإمتصاص الماء Passive absorption

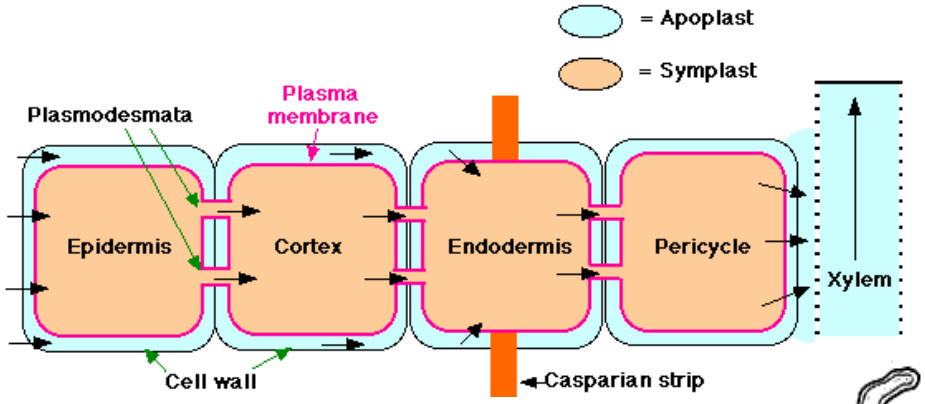
يطلق عليها ذلك نظراً لأن إمتصاص الجذور للماء يتسبب عن قوة لا تنشأ فى الجذر نفسه أى أن خلايا الجذر فى هذه الحالة ما هى إلا طريق يمر الماء خلاله من المحلول الأرضى إلى أوعية الخشب بقوة ناتجة من المجموع الخضرى للنبات وخاصة فى الأوراق (قوة الشد الناشئة عن النتح).

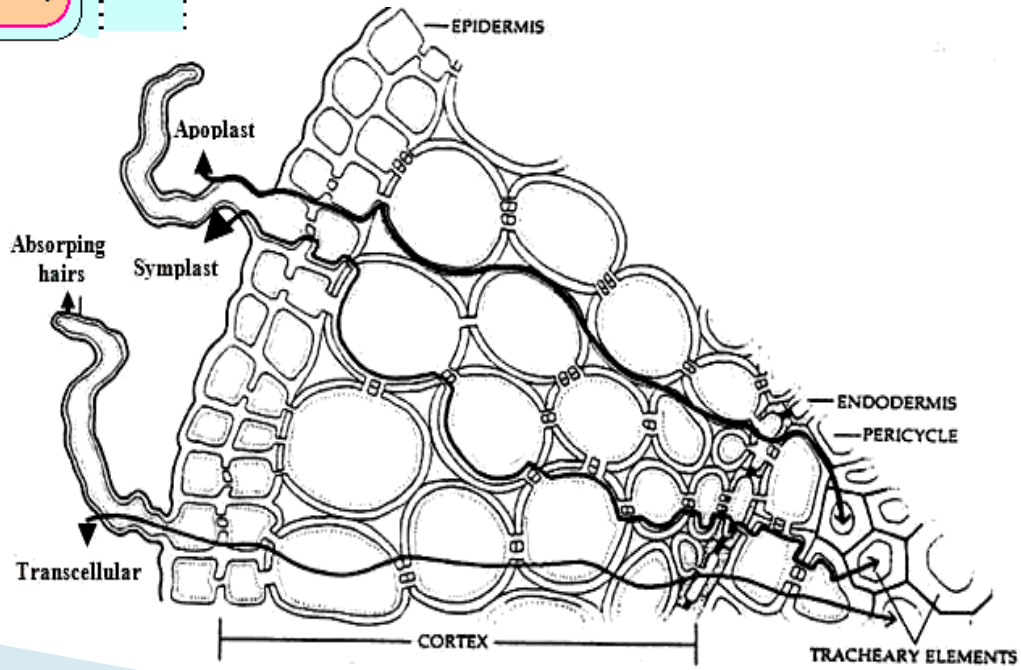
ويتلخص فعل القوة السلبية فى أنه كنتيجة لعملية النتح من الثغور فى الأوراق يتبخر الماء من جدران خلايا الميزوفيل فيقل محتواها المائى وينقص الضغط الإنتشارى للماء فيها عنه فى الخلايا المجاورة وبدورها تمتص الماء من الخلايا المجاورة لها وهكذا يتتابع نقص الضغط الإنتشارى للماء فى الخلايا حتى يصل إلى أوعية الخشب فيحدث لأعمدة الماء الموجودة بها شد **tension** نتيجة لإمتصاصه منها بواسطة الخلايا المجاورة لهذه الأوعية فى الأوراق ويعوض هذا الماء الممتص من أوعية الخشب من خلايا أنسجة الجذر المجاورة لها فينقص الضغط الإنتشارى للماء فى هذه الخلايا عنه فى الخلايا المجاورة وهكذا حتى يصل إلى خلايا البشرة التى تقوم بإمتصاص الماء من المحلول الأرضى.



# Path of water movement through root مسار تحرك الماء خلال الجذر

كما ذكرنا فإن الماء يُمتص بواسطة الشعيرات الجذرية وخلايا البشرة "Epidermis" فى منطقة الشعيرات الجذرية ثم يتحرك من هذه الخلايا إلى أنسجة القشرة (Cortex) متجهاً إلى البشرة الداخلية Endodermis ثم إلى البربسيكل Perecycle وفى النهاية إلى أوعية الخشب.



## ثانياً: إنتقال الماء فى النبات

بعد إمتصاص الماء فإنه يصعد إلى أعلى ليصل إلى الأوراق والقمم النامية ضد الجاذبية الأرضية، والطريقة الرئيسية أو المسار الرئيسى لإنتقال الماء يكون فى تجويف الأوعية الخشبية من الجذر إلى الساق فالأوراق.

## أهم النظريات التى تفسر آلية صعود الماء فى النبات

### نظرية الإنتقال بالضغط الجذرى:

سبق أن علمنا أن الضغط الجذرى هو أحد العوامل التى تعمل على دفع الماء إلى أعلى فى الساق وتكون هذه القوة أكثر فاعلية عندما ينعدم النتح فى بداية الربيع قبل تكون الأوراق الجديدة، ويعتقد البعض أن الضغط الجذرى بمفرده كافى لصعود الماء عبر الساق ونحو الأوراق وذلك لأن قوة الضغط الجذرى قد تبلغ ١ بار أو أكثر وهذا ما يساوى ١٠ أمتار لكل ١ بار، إلا أن قوة الضغط الجذرى غير كافية لبعض النباتات كما أثبتت الدراسات أن مجموعة النباتات المخروطية وهى من الأشجار العملاقة لا تمتلك ضغط جذرى ولم يثبت وجوده بها، علاوة على أن عصير الخشب يكون عادة تحت شد وجذب وإجهاد وليس تحت ضغط من أسفل. وعلى الرغم من ذلك فإن قوة الضغط الجذرى تكون هى أحد القوى المسببة لرفع الماء وإنتقاله فى النباتات الحولية.

## ❖ النظرية الحيوية Vital theory

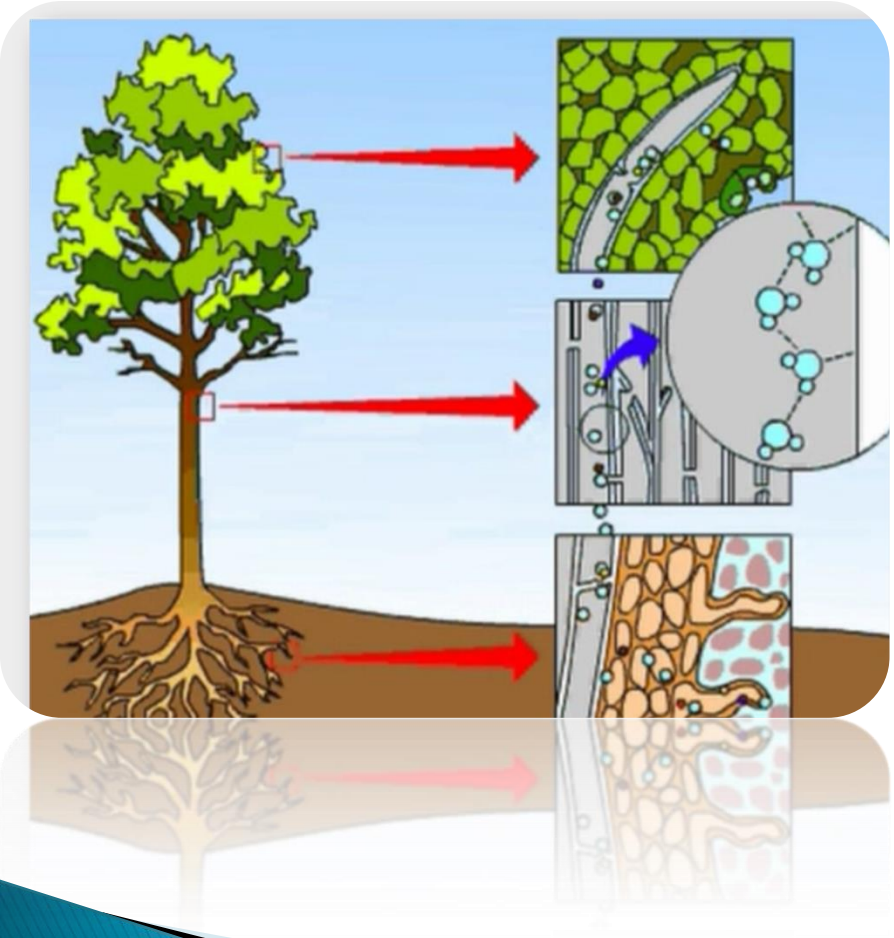
تعتمد هذه النظرية على أن صعود الماء وإنتقاله إلى أعلى ما هى إلا عملية حيوية ترجع إلى خلايا بارنكيمة الخشب وخلايا أشعة الخشب الحية التى تعمل على ضخ الماء فى أوعية الخشب المجاورة لها مما يؤدى إلى إرتفاعه إلى مسافة أعلى حيث أنها تبذل قدر من الطاقة الناتجة عن عملية التنفس فى هذه العملية، إلا أن هذه النظرية إستبعدت وهدمت بالتجارب التى أجريت على سيقان مقطوعة غمرت فى سائل به مادة سامة أدى إلى قتل الخلايا الحية وبعد قتل الخلايا الحية لوحظ إرتفاع السائل فى الساق مما يدل على أن موت الخلايا لم يؤثر على صعود السائل لأعلى فى الساق.

## ❖ نظرية ديكسون أو الشد المتماسك Dixon or Cohesion–Tension theory "

تعتمد نظرية الشد المتماسك أو عمود الماء على الخواص أو الصفات المميزة للماء وأهمها التماسك Cohesion والإلتصاق Adhesion وكذلك على الخواص التشريحية لنسيج الخشب، وخواص الماء هذه تعنى أن جزئيات الماء تتماسك مع بعضها البعض وفى نفس الوقت تلتصق مع جدار الأنبوبة أو الوعاء الذى يوضع به الماء. ولو إفترضنا عدم إنقطاع عمود الماء الواصل بين ماء التربة والجذر وأعمدة الماء في الساق حتى الأوراق وهذا إعتماداً على خاصية الماء التلاصقية والتماسكية وهذه حقيقة أكيدة، لأدراكنا كيفية إنتقال الماء من التربة إلى الأجزاء العليا فى النبات عكس الجاذبية الأرضية وعكس قوى الإحتكاك بجدر الأوعية الخشبية، وهذا لأن الماء لا يصعد إلى أعلى إلا إذا كان يخضع لقوى شد وجذب من أعلى وقوى دفع من أسفل، وفى مثلنا السابق لا توجد قوى دفع من أسفل إذاً فإن صعود الماء يعتمد أساساً على قوى الجذب والشد من أعلى.

## ولكن كيف يتم تكوين قوى الشد والجذب العلوية؟

عندما يتم تبخر الماء من خلايا النسيج المتوسط للورقة (خلايا أسفنجية) فإن ذلك يسبب نقص فى الجهود المائية لخلايا النسيج المتوسط الملاصقة تماماً للهواء المحيط عن الجهود المائية لخلايا نفس النسيج الملاصقة لها من الداخل. هذا النقص يعمل على إنتقال الماء من الخلايا الداخلية إلى الخلايا الخارجية ليعوض الماء المتبخر منها وليعادل الجهد المائى، ثم تسحب الخلايا الداخلية الماء من الخلايا الأكثر عمقاً منها وهكذا دواليك حتى يصل السحب "شد الماء إلى أوعية الخشب فى الأوراق، هذه الحالة من الشد تستمر خلال العمود المائى الغير مقطوع من الأوراق إلى المجموع الجذرى فيصبح الجهد المائى فى الخلايا الحية للجذر بداية من البريسيكل حتى البشرة أكثر سالبية من الجهد المائى للتربة وبالتالى يتم تنشيط وتشجيع الإمتصاص.



يمكننا الآن التساؤل هل تستطيع قوة الشد **Tensile strength** للماء رفع عمود الماء إلى قمم الأشجار العالية أم أن هناك قوى أخرى؟؟

الإجابة على هذا السؤال هى نعم، حيث أن قياسات قوى الشد للماء الناتج عن النتح تزيد عن ٣٠٠ بار ولصعود الماء إلى قمة شجرة طولها ٤٠٠ قدم (١٢٠ متر) يلزم إختلاف في الضغط بين القمة والقاعدة حوالى ١٣ بار وهكذا نلاحظ أن قوى الشد كافية لتحريك ورفع الماء إلى أعلى حتى بوجود قوة الإحتكاك بجدران الأوعية.

تعتبر نظرية الشد المتماسك هى أكثر النظريات قبولاً لتفسير إرتفاع وصعود الماء فى النبات ولكن هذا لا يعنى أن الضغط الجذرى غير قادر على تحريك الماء أو أنه لا يدخل فى عملية صعود الماء حيث أنه ينشط عندما يقل النتح فى النباتات ولكنه غير قادر بمفرده على إيصال الماء إلى القمم العالية بالإضافة أنه لا يوجد فى بعض الأشجار كالصنوبريات.

وأخيراً يجب الإشارة إلى أن الظواهر الفسيولوجية مثل فقد الماء أو تراكم الذائبات وتحركها وإمتصاص العناصر تسبب بطريقة مباشرة أو غير مباشرة زيادة فى سالبية الجهود المائية وزيادة فى تدرجها من مكان إلى آخر مما يؤثر بشكل أكيد على تحرك الماء وإنتقاله من مكان إلى آخر.

# فقد الماء Loss of water

٩٠- ٩٩% من الماء المُمتص بواسطة الجذور تفقده النباتات بعدة طرق أهمها النتح Transpiration ويبقى ١- ١٠% تستخدمه النباتات فى نمو الخلايا الحديثة وفى العمليات الأيضية المختلفة، ويتم فقد الماء بعدة طرق منها النتح، ظاهرة الإدماع Guttation والإفراز Secretion والأدماء bleeding.

بالنسبة للأفراز فما هو إلا عملية فقد الماء على صورة محاليل من الغدد Glands ومنها الغدد الرحيقية Nectaires، أما الإدماء فهو فقد الماء عن طريق الجروح التي قد تصاب بها النباتات، وكمية الماء المفقودة بهاتين الطريقتين تعتبر بسيطة جداً ولا قيمة لها، أما ظاهرتى الإدماع والنتح فهما الأهم وخصوصاً الأخيرة (النتح).

## ❖ الإدماع Guttation

تحت ظروف التربة الدافئة الرطبة تظهر على طول حواف أو قمم الأوراق نقاط مائية تظل عالقة بحواف النصل فى مظهر يشبه الدموع، لذا فإن فقد الماء بهذه الطريقة يسمى بالإدماع.

العوامل التي تحفز الأدماع هي:

- ✓ الإمتصاص العالى للماء.
- ✓ الضغط الجذرى المرتفع.
- ✓ إنخفاض أو إنعدام النتح لظرف ما.

بمعنى آخر أنه تحت هذه الظروف الثلاثة فإن إمتصاص الماء يفوق عملية النتح التى تعتبر العملية الأساسية والرئيسية لفقد الماء، لذا تلاحظ هذه الظاهرة فى الصباح الباكر بعد الليالى الدافئة الرطبة حيث يخرج الماء من فتحات خاصة تعرف بالثغور المائية توجد عند نهاية العروق فى أوراق بعض النباتات مثل الفراولة والطماطم والقمح وهى ثغور مفتوحة باستمرار ويكون خروج الماء منها فى صورة سائلة على هيئة قطرات تظل عالقة بحافة نصل الورقة فى مظهر يشبه الدموع حتى تتبخر. ومن المواد التى وجدت في سائل الإدماع كانت معظم الأملاح المعدنية (P، K، Na، Ca، Mg...) وكذلك كثير من السكريات مثل glucose، Fractose، Sucorose ... الخ، وكثيراً من الأحماض مثل glotamic acid، aspartic acid ... الخ، ومواد كثيرة أخرى مثل الدهون والبروتينات ويتراوح pH هذا السائل من ٦ : ٧ فى غالبية النباتات.

## ❖ النتح Transpiration

النتح هو صورة من صور فقد الماء فى النبات على صورة بخار من سطح أى جزء من أجزاء النبات المعرضة للجو وعلى الأخص الأوراق.

### أنواع النتح:

١) النتح الأدمى Cuticular transpiration.

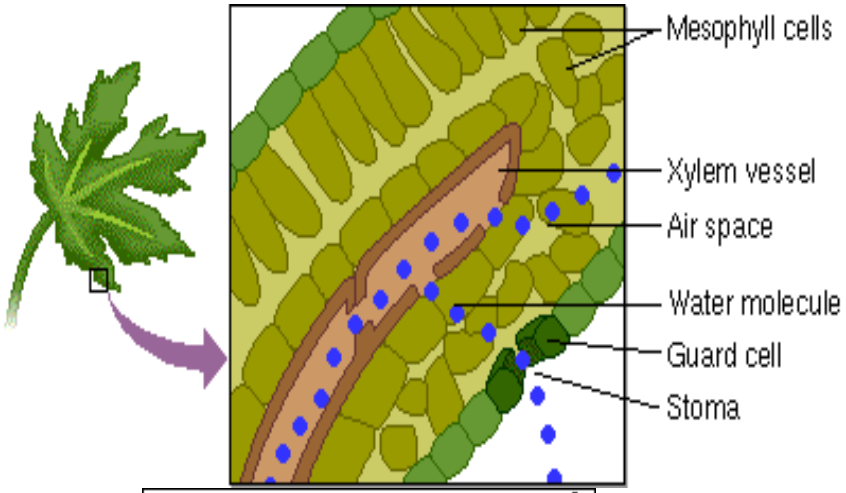
٢) النتح العديسى Lenticular transpiration.

٣) النتح الثغرى Stomatal transpiration.

- النتح الأدمى: هو فقد الماء من خلال طبقة الأدمة التى تغطى الأجزاء الهوائية للنبات ونسبته تحت الظروف القصوى لا تتجاوز ١٠% من نسبة النتح الكلى، والنتح الأدمى له أهمية كبيرة عند غلق الثغور وفى ظروف وجود الهواء الساخن.
- النتح العديسي: هو فقد الماء عن طريق العديسات التى تتخلل نسيج البريديرم فى السيقان المسنة ولا تتعدى نسبته ٠,١% من إجمالي الماء المفقود بالنتح.

## النتح الثغرى:

يعتبر النتح الثغرى هو الأساس وهو المسلك الرئيسى والمسئول عن معظم الماء المفقود من النبات وتصل نسبته إلى حوالى ٩٠% أو أكثر من مجموع ما ينتحه النبات، ويتم فقد الماء بهذه الطريقة عن طريق الثغور **Stomata** (مفردها **Stoma**) التى توجد فى بشرة الأوراق والسيقان الهوائية الحديثة، وهذه الثغور ميكروسكوبية الحجم ولها تركيب خاص يناسب وظيفتها، وعند فتح هذه الثغور كاملة فإن عرضها يقدر بحوالى ٣-١٢ µوطولها ١٠-١٢µ ويختلف عدد هذه الثغور من نبات إلى آخر ومن بيئة إلى أخرى وحتى من سطح إلى أخر فى نفس الورقة




| Plant Number of Stomata/mm² | | |
|---|---|---|
| | Upper Surface | Lower Surface |
| **Monocot** | | |
| Wheat | 50 | 40 |
| Barley | 70 | 85 |
| Onion | 175 | 175 |
| **Dicot** | | |
| Sunflower | 120 | 175 |
| Alfalfa | 169 | 188 |
| Geranium | 29 | 179 |

### فوائد النتح:

١) تبريد الأوراق وخفض درجة حرارة أسطح النبات المعرض للجو ووقاية النباتات من أخطار الحر الشديد حيث أن تبخر الماء يحتاج إلى حرارة يستمدها من خلايا الورقة فيسبب له برودة.

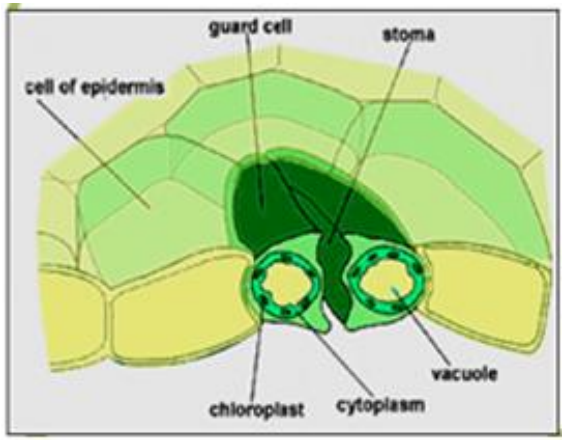
٢) يسبب رفع العصارة وإمتصاص الماء وإنتقال كميات كبيرة من الماء والذائبات من الجذور إلى الأوراق وتوزيعها فى النبات.

## فسيولوجيا الثغور:

الثغور هي فتحات ميكروسكوبية دقيقة توجد فى بشرة الأوراق والسيقان الهوائية الحديثة ويفقد النبات حوالى ٩٥% من الماء عن طريقها.

من أهم الصفات الفسيولوجية للنبات هى تبادل الغازات بين الأوراق والجو المحيط والتى من أهمها الأكسجين وثانى أكسيد الكربون وأيضاً من هذه الصفات فقد الماء فى صورة بخار عن طريق الثغور إلى خارج النبات فى عملية النتح لكى يحدث الإتزان المائى داخل النبات.

يختلف عدد الثغور بإختلاف النبات وبإختلاف العضو النباتي، يبلغ عددها ١٠٠٠-١٠٠٠٠ ثغر لكل سنتيمتر مربع، وتوجد الثغور عادةً على كلا سطحى الورقة، فى النباتات ذات الفلقة الواحدة تتوزع الثغور بشكل منتظم على سطحى الورقة بينما فى النباتات ذات الفلقتين يكون عددها أكبر على السطح السفلى للورقة وهذه الإختلافات تناسب تماماً الوسط البيئى وكيفية تعرض الأوراق للشمس أو للحرارة. والثغور إما أن تكون مبعثرة فى نسيج البشرة كما فى ذوات الفلقتين أو تكون مرتبة فى صفوف كما فى ذوات الفلقة الواحدة.

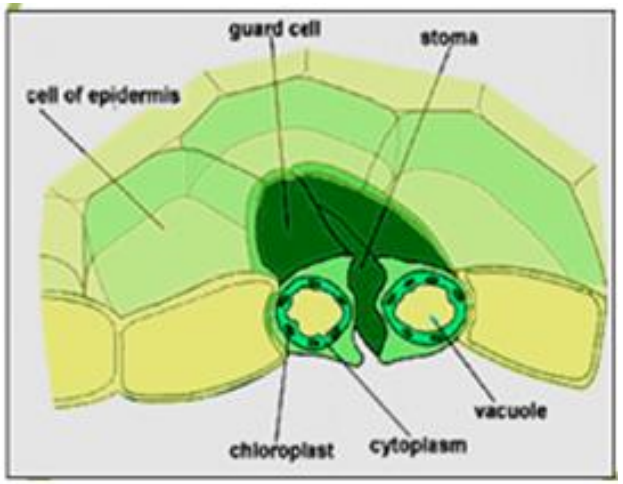


# الميكانيكيات الثغرية فى الفتح والقفل

# Stomatal Mechanisms of opining and closing

## ١- نظرية العالم سكارث Scarth أو The starch–sugar hypothesis

وقد تم إعتماد هذه النظرية بعد أن لاحظ العديد من العلماء أن نسبة النشا تكون مرتفعة فى الخلايا الحارسة فى الظلام وتكون منخفضة فى وجود الضوء أثناء النهار، كما أن ذلك يقترن مع إرتفاع الـ pH عندما تكون الثغور مفتوحة حيث يصل إلى ٦–٧ بينما ينخفض الـ pH عند غلق الثغور إلى ٤–٥، من هذه الملاحظات تم الإستنتاج أن فتح الثغور فى الضوء ناتج من إرتفاع فى الـ pH الذى ينشط إنزيمات تحويل النشا الى سكر خافضاً الجهد المائى للخلايا الحارسة.



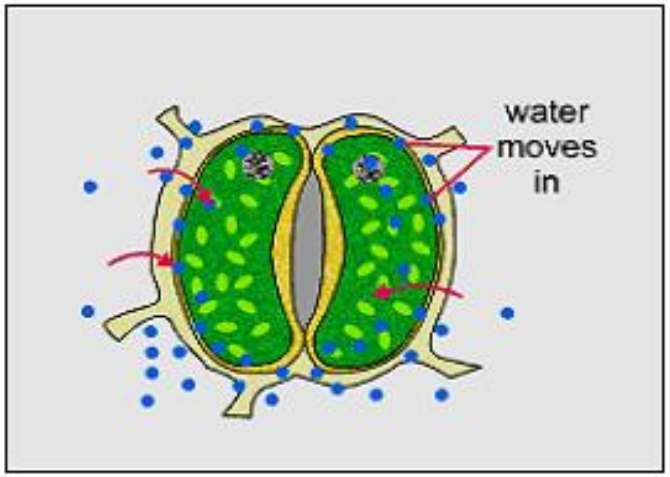

الثغور التى توجد بشكل أساسى فى نسيج البشرة للأوراق والسيقان الغضة تكون مفتوحة بشكل بسيط. كل ثغر محاط بخليتان حارستان تحتويان على كمية كبيرة من البلاستيدات الخضراء. الجدار الداخلى المواجه لفتحة الثغر فى كل خلية يكون أكثر سمكاً عن طرفة البعيد عن الفتحة. إذاً الثغر له تركيب مناسب حيث أنه يستطيع التحكم في عملية النتح، فعندما يكون مغلقاً لا يحدث نتح وعندما يفتح يتم النتح.

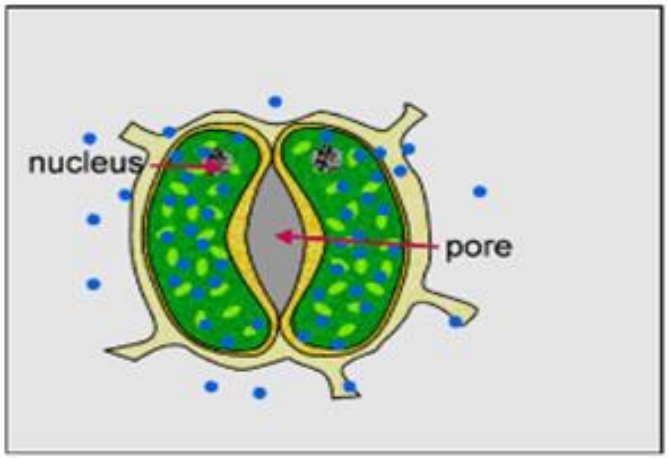
السؤال ألان هو كيف يتم الفتح؟

خلال النهار:

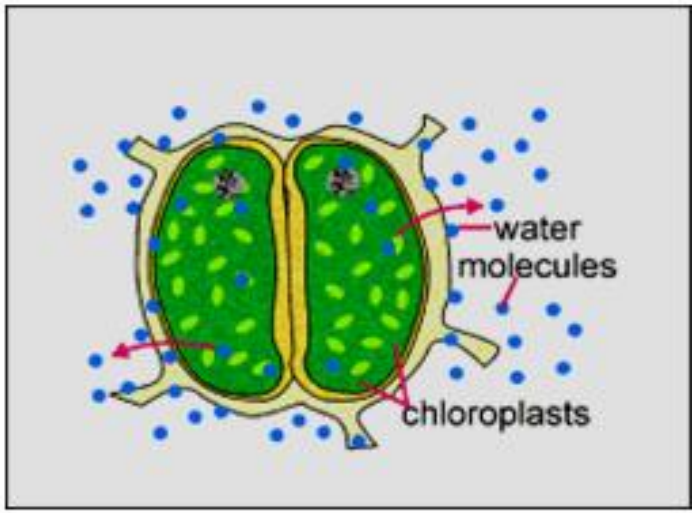
يقوم النبات بعملية البناء الضوئى فى البلاستيدات الخضراء للخلايا الحارسة، حيث يتم تكوين السكر خلال النهار، وهذا السكر المتكون يؤدى إلى إنخفاض نسبة ثانى أكسيد الكربون نتيجة لإمتصاصة وإستخدامه فى عملية البناء الضوئى وهذا الإنخفاض يعمل على خفض حموضة الخلايا الحارسة أو إرتفاع الـ pH أى يصبح وسط الخلايا الحارسة أكثر قاعدية. هذا الوسط القاعدى يشجع تحول النشاء إلى سكر عن طريق تنشيط إنزيم الـ Phosphprylase، هذا الانزيم حساس جداً لعملية التغير فى الـ pH، إذاً زيادة السكر من عملية التمثيل الضوئى مباشرة وكذلك تحول النشاء إلى سكر عن طريق خفض $CO_2$ وزيادة الـ pH يعمل على نقص تركيز الماء الحر داخل الخلية، وهذا النقص في تركيز الماء الحر يعمل على إنخفاض الجهد المائي للخلايا الحارسة مما يؤدى إلى إندفاع الماء من خلايا البشرة المحيطة إلى الخلايا الحارسة.

يؤدى إندفاع الماء إلى الخلايا الحارسة إلى إنتفاخها وزيادة ضغط الإمتلاء الذى يسبب تقوس الجدار الرقيق البعيد عن الفتحة للخلف جاذباً معه الجدار السميك المواجه لفتحة الثغر حيث ينحنى للداخل وهذا مايسبب فتح الثغر.



خلال الليل:




يتوقف البناء الضوئى ويتوقف تكوين السكر وبالتالى يتوقف سحب ثانى أكسيد الكربون ويستمر التنفس الخلوى مما يؤدى إلى زيادة نسبة ثانى أكسيد الكربون فى محيط الخلايا الحارسة، وهذه الزيادة تسبب إنخفاض الـ pH فيصبح الوسط أكثر حموضة وهذا ما يسبب تحول السكر إلى نشا فى الخلايا الحارسة مما يؤدى إلى إرتفاع الجهد المائى للخلايا الحارسة عن الجهد المائى للخلايا المساعدة أو خلايا البشرة المحيطة وهذا يترتب عليه إندفاع الماء خارجاً من الخلايا الحارسة فينخفض الضغط على الجدار الخلوى فيعود إلى مكانه مسبباً إنغلاق الثغر.

على الرغم من بساطة هذه النظرية إلا أنها تعتبر غير كافية لتفسير فتح وغلق معظم الثغور وذلك للأسباب الأتية:

١) الخلايا الحارسة فى البصل لا تحتوى على نشا مطلقاً ورغم ذلك فالثغور تفتح وتغلق.

٢) إن التغير فى تركيز $CO_2$ غير كافى لإحداث التغيرات المذكورة في درجة الحموضة للخلايا الحارسة ولا يتناسب مع التغير الفعلى في درجة الحموضة من 5 إلى 7 أى وحدتين والذى أمكن قياسه فى أثناء إنتفاخ الخلايا الحارسة.

٣) التحول الداخلى للنشا إلى سكر يعتبر بطئ جداً مقارنة مع سرعة إستجابة الثغور وعملية الفتح.

٤) لا تتضمن فى هذه النظرية أى دلالة على تأثير الضوء الأزرق فى فتح الثغور والذى ثبت أنه يلعب دوراً رئيسياً فى عملية الفتح والغلق.

## ٢- النظريات الحديثة لتفسير فتح وغلق الثغور

ولتفسير وفهم هذه العملية سنتطرق إلى جزأين وهما:

١. ما هى العوامل التى تؤثر على عملية الفتح والغلق؟
٢. كيف تتم حركة الثغور للفتح والغلق؟

### أولاً- هناك العديد من العوامل التى تقود أو تؤثر على عملية الفتح والغلق:

- ✓ نظام داخلى المنشأ أى ما يمكن تعريفه بالساعة البيولوجية: فالثغور عادة تفتح خلال النهار وتغلق خلال الليل (بعض النباتات العصارية التى تعيش فى المناطق الحارة والجافة لها نظام عكسى وذلك حتى تقتصد فى فقد الماء وتحافظ عليه) ورغم ذلك فإن الثغور تبقى تفتح وتغلق على مدار الـ ٢٤ ساعة حتى لو عرضت إلى ضوء مستمر.
- ✓ التوازن المائى: التوازن المائى للنباتات أو مستوى إحتوائها من الماء يلعب دوراً فى عملية فتح وغلق الثغور. النباتات الذابلة تغلق ثغورها ويعتقد أن منظم النمو أو هرمون حمض الأبسسيك يلعب دوراً وسيطاً فى هذه الظروف حيث يؤدى إلى الإغلاق حتى فى ظروف الفتح العادية. حيث لوحظ أن نقص الماء الشديد فى جذور النبات يمكن أن يرسل تأثيره عبر أوعية الخشب إلى الثغور فى الأوراق عبر إشارة من خلال حمض الأبسسيك.
- ✓ تركيزثانى أكسيد الكربون ($CO_2$) فإنخفاض مستوى $CO_2$ يسبب فتح الثغور والعكس إرتفاع مستوى $CO_2$ يسبب غلق الثغور، فإذا كانت نسبة ثانى أكسيد الكربون منخفضة فى الهواء حول الثغور فى الظلام ممكن أن يتسبب ذلك فى فتح الثغور على غير العادة.
- ✓ الضوء: يسبب الضوء فتح الثغور، ويتراوح الحد الأدنى من الضوء لفتح الثغور عند معظم النباتات بين ١/٣٠ إلى ١/١٠٠٠ من مجمل الضوء وهو الحد الكافى لبدء عمل بناء ضوئى كامل. الموجات الزرقاء ذات الأطوال الموجية 430–460 nm تعتبر أكثر فعالية بعشر مرات من موجات الضوء الأحمر ذات الأطوال الموجية 630–680 nm.

## كيف تتم حركات الفتح والغلق؟

الموجات الضوئية الزرقاء تمتص بواسطة صبغة (α– carotenoid pigment) zeaxanthin وهذا يؤدى إلى تنشيط مضخة البروتونات فى أغشية الثيلاكويدات للخلايا الحارسة مما يعمل على ضخ البروتونات (أيون أو بروتون الهيدروجين)* خارج سيتوبلازم الخلايا الحارسة مولداً حركة نشطة للبروتونات (protone motive force) أى تدرج كهروكيميائى عبر الغشاء مما يحدث تغيرات كبيرة فى الـ pH (حيث تتغير من 5–4 الى 7–6) منتجاً توتراً عبر الأغشية يصل أحياناً إلى 120 فولت وهذا ما يؤدى إلى فتح القنوات البروتينية التى تسمح بالتدفق السلبى لأيونات البوتاسيوم الموجبة إلى داخل الخلايا الحارسة لكى يعادل خروج البروتونات، ويتم أيضا دخول أيونات الكلوريد السالبة عن طريق تزاوجها (Coupled) مع بعض البروتونات العائدة عبر القنوات (Cl/H symport) حتى يتم معادلة وإتزان الشحنات الكهربائية (انظر مضخة الايونات). هذا التراكم الأيونى يعمل على خفض الجهد المائى داخل الخلايا الحارسة مؤدياً إلى إنتفاخ الخلايا الحارسة وبالتالى فتح الثغور.

عملية تكسير النشا إلى حمض الفسفوإينول بيروفيك (Phosphoenol pyruvate (PEP) تنشط بواسطة الضوء الأزرق. والـ (PEP) المتكون يتحد مع ثانى أكسيد الكربون مكوناً الاكسالو أستيك أسد (Oxaloacetic acid) الذى يتحول بدوره إلى حمض الماليك (Malic acid). أيونات الهيدروجين المتكونة من حمض الماليك هى الأيونات التى يتم ضخها للخارج عبر الغشاء البلازمى من مضخة الأيونات التى تم ذكرها سابقاً.

وبالتالى يظهر هنا أن إمتصاص أيونات البوتاسيوم داخل الخلايا الحارسة ناتج عن تكون بروتونات الهيدروجين من حمض الماليك فى الخلايا الحارسة، وهذا يسبب زيادة فى المواد التى تسبب إنخفاض الجهد المائى فى الخلايا الحارسة والناتج عن تكسر النشا داخلها. هذا التراكم الأيونى وإنخفاض الجهد المائى داخل الخلايا الحارسة يزداد مع تقدم النهارعن طريق تكوين السكر الناتج من بدء نشاط عملية التمثيل الضوئى وكذلك فإن الضوء الأزرق يعمل على تحلل النشا إلى سكر.

# الميكانيكيات المقترحه لتنظيم حركة الثغور

الضوء

كميات قليله من CO2 تثبت فى الخلايا الحارسة

يقل تركيز CO2 فى الخلايا الحارسة

ينتج حمض الماليك

فسفرة ضوئية غير دائرية

حدوث تنفس

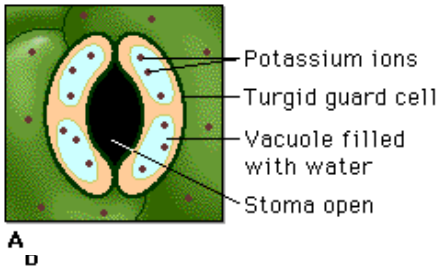
تكوين ATP

نقص مستوى الاحماض بتفاعلات نزع الكربوكسيل

ATP

يعمل الATP كمضخه H من الخلية ويدخل K اليها

يرتفع Ph الخلايا الحارسة




زيادة تركيز K,Cl و الملات فى الخلايا الحارسة

نشاط انزيم الفوسفوريليز

الجهد المائى للخلايا الحارسة يصبح اكثر سالبيه من الخلايا المجاورة

التحلل المائى للنشا

يدخل الماء الى الخلايا الخارسة

تزداد السكريات الذائبة

يزداد ضغط الامتلاء للخلايا الحارسة فتتكور

مستوى السكريات قد يكون غير كافى يؤثر على الجهد المائى للخلايا الحارسة

ينفتح الثغر